

东海陆架典型断面颗粒态氨基酸的分布 及控制因素分析*

刘宗广¹ 吴莹¹ 胡俊¹ 朱卓毅¹ 赵苑² 宣基亮³

(1. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062; 2. 中国科学院海洋研究所
海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 3. 国家海洋局第二海洋研究所
卫星海洋环境动力学国家重点实验室 杭州 310012)

提要 采用高效液相色谱法, 通过现场调查对东海典型 PN 断面(文中为 C 断面)的颗粒态氨基酸 (Particulate Amino Acids, PAA)进行了分析, 并结合叶绿素 *a*(Chl *a*)、颗粒有机碳(POC)、颗粒有机氮(PON)及颗粒态氨基酸的构型特征(D 和 L 型)等参数探讨了该区颗粒有机氮的来源和降解情况。结果表明, 在长江口最大浑浊带, 受咸淡水混合和生物现场生产双重作用影响, POC、PON 以及 PAA 的总浓度均达到了极大值, 其中, 受再悬浮作用影响, 底层水体中的有机物呈现高度降解的状态; 近岸水华区域的颗粒态氨基酸则更多来源于现场生产, 而且 POC/Chl *a* 质量比值与降解因子 DI 值的负相关特征表明冲淡水向海洋输送的过程中, 现场生产力对颗粒有机碳的贡献比重逐渐增大, 悬浮颗粒物也变得越来越新鲜。值得关注的是, 一些 D 型氨基酸[如 D 型天冬氨酸(D-Asp), D 型丙氨酸(D-Ala)]与细菌生物量之间存在良好的正相关性, 暗示颗粒态氨基酸在受到物理水团和生物现场生产作用控制的同时, 还受控于微型浮游生物以及异养细菌。

关键词 悬浮颗粒物, 颗粒态氨基酸, 稳定同位素, 异养细菌, 黑潮, 东海陆架, 控制因素
中图分类号 P734

氮元素是限制真光层浮游植物生长以及海洋生产力的主要控制因素之一, 除大气沉降作用、底层再悬浮作用以及生物固氮作用产生之外, 海洋中生物可利用的氮元素的另一重要来源是陆地向海洋的输送(Dittmar *et al.*, 2001)。这其中的部分氮元素以有机分子形式存在, 而且经过细菌矿化作用之后可被大部分初级生产者所利用(Cornell *et al.*, 1995)。因此, 深入了解陆源有机氮向海洋的传递过程对于海洋中氮循环具有重要意义。

氨基酸是有机氮(ON)重要的存在形式, 同时也是大部分生物体有机碳(OC)的重要成分之一, 它可以有效地指示海洋环境中的降解作用(Dauwe *et al.*, 1998)和成岩过程(Dauwe *et al.*, 1999), 其来源以及地

球化学行为无论是在河流以及河口或是海洋中已经得到广泛研究(Dittmar *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2004; Unger *et al.*, 2005, 2012; Duan *et al.*, 2007; Fernandes, 2011), 但是在长江口及毗邻海区的研究(李烈英等, 2004; Wu *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2009)甚少, 尤其是区分氨基酸构型的研究。

长江作为世界大河, 其径流量和输沙量对东海陆架生态系统的影响非常重要, 其河口及毗邻的东海陆架区域一直是海洋科学工作者关注的焦点, 尤其是 PN 断面作为东海陆架的一条典型断面也一直被众多领域科研工作人员所探讨(Wu *et al.*, 2003; Pan *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2009)。本文通过对东海陆架典型断面特征水团的颗粒态氨基酸分布

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB409802 号; 科技部国际合作项目, 2010DFA24590 号; 国家自然科学基金项目, 41076052 号; 国际科学基金项目, A/5112-1 号。刘宗广, E-mail: liuzongguang@yahoo.com.cn

通讯作者: 吴莹, 教授, E-mail: wuying@sklec.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2012-06-07, 收修改稿日期: 2012-08-21

特征进行分析, 深入了解物理水团、化学特征以及生物因素对悬浮颗粒物中有机氮的组成及传输过程的影响, 并辅以碳和氮的稳定同位素、叶绿素 *a*、异养细菌及氨基酸构型比参数, 阐述该区域对不同种类氨基酸的改造过程及控制因素, 判断颗粒有机氮 (PON) 的来源及降解程度。

1 材料与方法

1.1 样品采集

搭载“973”项目(实验3号)于2011年5月22、23日对东海陆架PN典型断面(图1, C断面)的11个站位进行科学考察, 采集不同层次的海水样品后, 在负压不超过-0.3MP的条件下, 立即将颗粒有机物过

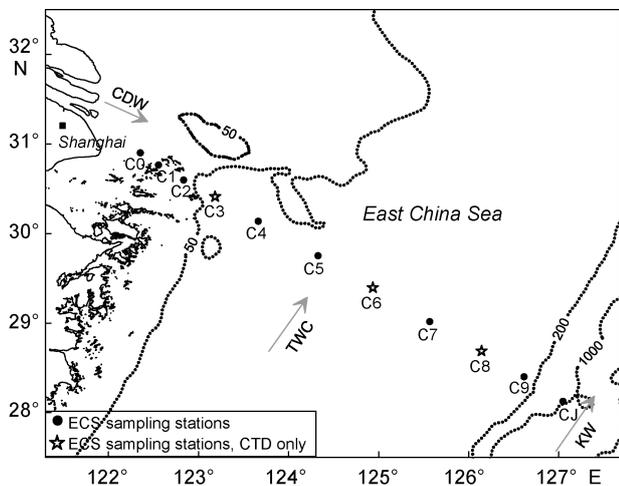


图1 东海大陆架背景调查航次C断面站位图(内附T-S散点图)

Fig.1 Sampling stations of Section C during the East China Sea Background Cruise (Including T-S Scatter Curve)

注: CDW表示长江冲淡水, TWC表示台湾暖流, KW表示黑潮水

滤在GF/F滤膜上(Whatman, 47mm, 500°C灼烧5h), 将膜对折后包裹于铝箔中, 并保存在-20°C冰箱中带回实验室待分析。

1.2 颗粒态氨基酸分析

将样品做冷冻干燥处理, 在N₂氛围中酸化水解(110°C, 24h), 然后再加入氢氧化钠-硼酸钠缓冲溶液, 冷却至室温, 用32% NaOH溶液调节样品溶液的pH=8.5, 静置后取上清液进行高效液相色谱仪(HPLC)测定。最后对样品谱图进行积分处理, 并考虑稀释因子、回收率, 利用工作曲线得出样品中各个氨基酸的含量(Fitznar *et al.*, 1999; Dittmar *et al.*, 2001)。

1.3 碳、氮元素及其稳定同位素分析

POC和PON绝对含量及其稳定同位素的分析方法(Zhang *et al.*, 1997): 所过滤的样品经酸雾淋洗去除无机碳后, 在CHN elemental analyzer (Carlo Erba 1108)上进行测量, 检测限为 1×10^{-5} , 检测精度<5%—10%; 其稳定同位素利用DELTA plus/XL isotopic ratio mass spectrometer (Finnigan MAT Com. USA)进行测量, $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{15}\text{N}$ 检测精度分别为 $\pm 0.2\text{‰}$ 和 $\pm 0.3\text{‰}$ 。

1.4 叶绿素 *a* 分析

叶绿素 *a* 分析方法采用的是反相高效液相色谱法, 具体参考胡俊等(2011)。

1.5 微型真核浮游生物及异养细菌分析方法

微型真核浮游生物及异养细菌均采用流式细胞仪分析完成, 具体参考Zhao等(2011)。

2 结果

2.1 水文及化学基本要素

根据水团及地形特征, 所研究的C断面被分割

表1 C断面不同研究区域的化学基本要素及颗粒态氨基酸参数

Tab.1 Bulk chemical parameters and particulate amino acids from the different study sites of Section C

参数	Estuary (6)	Shelf (15)	Shelf edge (5)
Salinity	28.4±1.8	33.2±1.2	34.3±0.3
DO(mg/L)	7.7±0.2	7.1±1.2	5.0±1.7
TSM(mg/L)	143.9±113.3	5.3±5.3	0.6±0.4
POC(μmol/L)	87.1±52.5	12.4±7.0	4.0±1.4
PON(μmol/L)	7.7±4.6	1.1±0.6	—
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	-21.2±1.8	-21.4±1.0	-23.7±0.5
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	3.1±0.8	4.3±1.0	—
TPAA(μmol/L)	2.92±1.01	0.77±0.54	0.19±0.08
TPAA(mole-C% of POC)	18.3±6.3	27.4±8.2	21.5±3.4
TPAA(mole-N% of PON)	47.1±18.3	67.5±22.1	—
D-AA(mole-% of TPAA)	9.7±4.3	5.3±1.2	4.3±0.4

注: 表中数值为该区域的平均值±标准偏差, 并提供了氨基酸与不同参数之间的对比结果。括号中数字代表样品个数

成 3 类不同的区域: 河口区(2 个站位, 6 个样品); 陆架区(8 个站位, 12 个样品); 陆架边缘区(1 个站位, 5 个样品)(图 1)。调查所得 2011 年 5 月份 C 断面的水文及化学参数如表 1 所示。温度分布出现了明显的层化现象, 并且随深度增加而逐渐降低, 值得关注的是, 在 C4 及 C5 站的表层, 现场出现了大量的夜光藻, 溶解氧达到了过饱和的状态; 盐度则呈现出由河口向外逐渐升高的趋势, 尤其是在陆架边缘(图 2), 黑潮次表层水的经过致使水团盐度达到了极大值(毛汉礼等, 1964)。

受陆源输送的影响, 河口区的总悬浮颗粒物(TSM)、颗粒有机碳(POC)及颗粒有机氮(PON)的浓度均达到最高值, 而且由河口区向外海陆架延伸, 浓度迅速降低, 只有在近海的某些水华站位的表层出现了反常(表 1, 图 3)。POC 的 $\delta^{13}C$ 值在近岸的河口及陆架区域无明显差异, 平均值在 -21‰ 左右, 值得关注的是 C1 站及 C4 站表层, 颗粒物的 $\delta^{13}C$ 值明显偏正, 在 -20‰ 以上; 而在陆架边缘区, $\delta^{13}C$ 值则明显偏负,

尤其体现在 100m 水深以下的中层, 这一数值达到 -23‰ 甚至 -24‰ (Wu *et al*, 2003)。 $\delta^{15}N$ 值则整体表现为表层偏负而底层偏正的现象。

2.2 氨基酸分布及组成特征

与 POC、PON 及 SPM 分布类似, 总颗粒态氨基酸(TPAA)浓度极大值同样出现在河口区表层, 达到了 $4.17\mu\text{mol/L}$, 随着向外海的延伸和深度的增加, 其含量也不断减少, 在 CJ 站的千米底层, 含量仅为 $0.075\mu\text{mol/L}$ 。TPAA 里有机碳占 POC 的比重在河口区较低, 平均值在 20% 以下, 而在陆架区这一比例上升至 30% 左右, 水华站位(如 C4 的表层)甚至达到 50%, 在陆架边缘, 这一比例的平均值则又降回到 21.5% 附近, 但是 TPAA 中有机氮含量占 PON 的比重却是由河口向外海不断增加的。

对于单体氨基酸而言, 其含量占 TPAA 总浓度的百分比在所划分的区域内均有所差异, 由河口向陆架边缘延伸, 部分氨基酸的百分含量呈现了降低趋势, 这包括天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、精氨酸

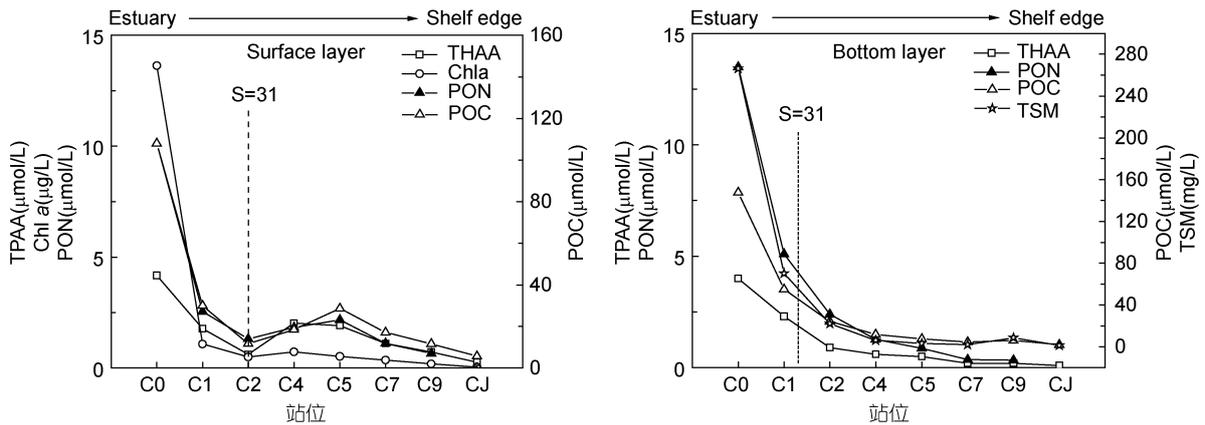


图 2 CJ 站温度、盐度、TPAA 及 D 型氨基酸占总颗粒态氨基酸的比例剖面分布图

Fig.2 Temperature, salinity, TPAA and mol% of D-enantiomers fractions within TPAA profiles of Station CJ

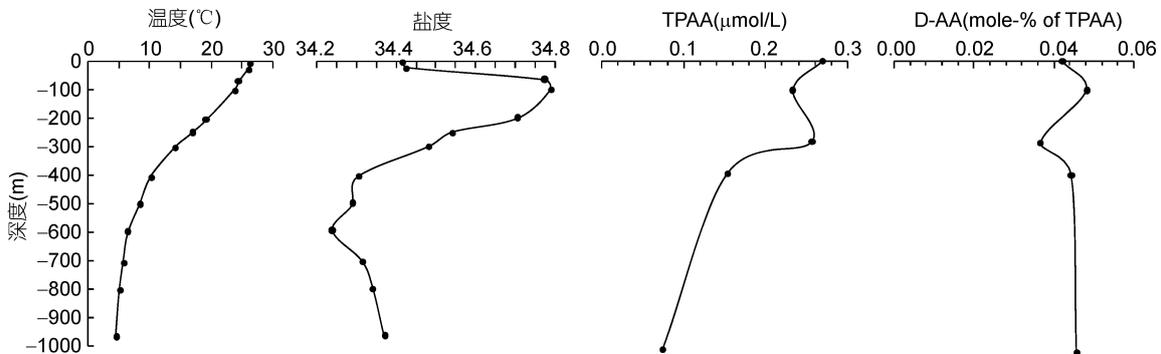


图 3 总颗粒态氨基酸、颗粒有机氮、颗粒有机碳、叶绿素 a(表)和总悬浮颗粒物浓度(底)沿 C 断面的表底层分布图

Fig.3 Spatial distribution of TPAA, PON, POC, Chl a (surface only) and TSM (bottom only) at the surface and bottom layer along the Section C

(Arg)、缬氨酸(Val)、亮氨酸(Leu)以及赖氨酸(Lys)等;而有些氨基酸则正好相反,如谷氨酸(Glu)、丝氨酸(Ser)及甘氨酸(Gly)等。所有氨基酸中,中性和酸性的氨基酸含量各占 TPAA 的 50%和 30%以上,芳香类和碱性氨基酸类似,百分含量的平均值在 5%左右,而羟基类氨基酸则介于中间,另一类特殊的非蛋白质氨基酸-GABA,对 TPAA 的贡献也只在 5%以下;中性和羟基类氨基酸占 TPAA 比例由河口向陆架逐渐升高,而其它三类则没有明显差异。

氨基酸能提供的另一重要信息则是它的构型组成,由河口向陆架边缘延伸, D 型氨基酸所占 TPAA 的比例是不断降低的,在河口区 D 型氨基酸比例接近 10%,而陆架及边缘区只有 5%左右,单个氨基酸中的 D 型所占比例与整体趋势一样,河口及近岸区域明显高于外海,而丙氨酸(Ala)则呈现了两头低中间高的状态,其组成在陆架区(6.44%)略高于河口区(5.60%)及陆架边缘区(5.82%);单位质量悬浮颗粒物中 D 或 L 型氨基酸的绝对含量与 POC%呈现出较高的相关性(D-AA/TSM 与 POC%: $y_1 = 0.002x + 9.108E-04$, $R = 0.913$, $P < 0.0001$, $N=26$; L-AA/TSM 与 POC%: $y_2 = 0.043x - 0.012$, $R = 0.886$, $P < 0.0001$, $n=26$)。

参照文献(Dauwe *et al*, 1998, 1999; Dittmar *et al*, 2001)中的方法,计算出相应的降解因子(Degradation Index, DI Value)。DI 值可以在一定程度上指示颗粒物的降解程度,其范围大致在-1.5— +1 之间,计算结果的两个端元分别指示了高度降解的有机物(负值)和新鲜浮游植物的现场生产(正值),并以此为依据进一步判断颗粒物的来源。本次调查中 DI 值介于 0.01— 0.82 之间,总体而言,外海的 DI 值高于近岸,表层的高于深层。

3 讨论

3.1 特征水团与氨基酸结构组成

从图 3 中可以看出,以盐度 31‰为界限(毛汉礼等, 1963),表层冲淡水的最大影响范围在 C2 站附近,而底层界线则由于外海水的入侵而向口内回缩,这源于长江月径流量(5 月份大通站: 441.94 亿 m^3)还处于洪峰之前较低的水平,此数值只有 2011 年最大月径流量的一半不到,而且,三峡蓄水之后,大通站的年均径流量整体呈现降低趋势,相比 2003 年 9 月(Wu *et al*, 2007)(大通站: 1036 亿 m^3),此时冲淡水所夹带的陆源信息相对较少,首先,无论是 POC、PON 还是 TPAA,其总浓度均较 2003 年 9 月的水平低,尤其是

在河口区;其次,河流输入的有机物具有较高的降解程度,表现在总颗粒态氨基酸的降解因子 DI 值上则应该偏负,而本文数据总体比 2003 年 9 月的 DI 值偏正,这表明长江正处于枯水季节,氨基酸更多来源于现场浮游植物的生产作用。众所周知,长江口的水动力特征受河流注入和潮汐作用双重控制(Li *et al*, 1998; Chen *et al*, 1999),在口门外出现了一个最大浑浊带区域,大量颗粒物在此被积累和再悬浮,氨基酸浓度也在此出现了极大值,有机物的特征在河口区呈现高度降解,而陆架及其边缘区则相对新鲜,由河口向外海延伸,TPAA 浓度与盐度变化保持了一定的相关性[Con(TPAA) = -1.967Salinity + 34.62, $R = -0.915$, $P < 0.001$, $n=26$]。

从 T-S 散点图中(图 1 内)可以看出,在陆架中部区域已经出现了台湾暖流的迹象,高温高盐水在 C4 及 C5 站附近涌升至表层,但是现场氨基酸的分布则更多地受控于水华的出现,而此时,该区域水体温盐范围正适宜水华优势藻种——夜光藻生存,从而导致现场生产对于颗粒态氨基酸的贡献大大提升,直接表现为总颗粒态氨基酸中的有机碳和有机氮含量均偏高,而且 $\delta^{13}C$ 的数值也明显偏正(C4 表层: -19.4‰)。

值得关注的是(图 2),在陆坡转折处约 100m 深的次表层水体流速强且流向稳定,盐度达到极值(34.8),说明此时黑潮已经影响到该区域,它必然会带来与河口及近岸所不同的信息:无论是 TPAA、POC 及 PON 的浓度,氨基酸中的氮元素占总氮的百分含量,还是 ^{13}C 值,在此深度均出现了一个极小值,这说明黑潮水中的有机物并非来源于浮游植物的生产作用;而在 D 型氨基酸占总颗粒态氨基酸比例的剖面分布图(图 2)中可以看出,虽然此深度 TPAA 浓度出现一个极小值,但这一层次的总体 D 型氨基酸比例以及 D-Ala 占 Ala 的百分比(CJ-0m: 6.0%; CJ-100m: 8.0%; CJ-280m: 5.5%; CJ-390m: 4.8%; CJ-1000m: 4.7%)均有一个极大值,初步推断这里细菌对于有机质的贡献颇多(Kaiser *et al*, 2008)。

3.2 氨基酸的组成与溯源

大部分单体氨基酸占 TPAA 比例受陆源输送的影响较大,河口区还会受到再悬浮作用的影响,因此导致从河口区到陆架及其边缘呈现出不断降低的趋势,只有 Glu、Ser 及 Gly 与之相反,说明这几类氨基酸除来源于河流之外,还受控于现场生产作用;单体 D 型氨基酸占该种氨基酸的比例基本表现为河口明显高于外海,而陆架及其边缘无明显差异,这说明 D

型氨基酸比例因河口区有机物的高度降解而变得更高, 这与降解因子 DI 也能相吻合。从单位质量悬浮颗粒物上的氨基酸含量与 POC 百分含量的相关性可以看出, 无论是 D 型还是 L 型氨基酸, 均在一定程度上与颗粒有机碳有着相同的来源, 尤其是 D 型氨基酸。但是在发生水华或黑潮流经的站位, 氨基酸所贡献的有机碳含量发生离散, 这也充分表明氨基酸的分布与组成会受到物理水团和生物作用等多方面的干扰。

POC 与叶绿素 *a* 的比值(POC/Chl *a*; 质量比, 下同)可以用来表征颗粒物中现场生产力对有机碳的贡献程度, 由于叶绿素 *a* 是有机碳中相对不稳定的组分, 所以该比值可以用来指示颗粒物的新鲜程度(Cotrim *et al.*, 2001)。由此推断, 存在明显陆源 POC 输送, 或者有机碳降解充分时, 河口/河流区 POC/Chl *a* 比值则可能很大。POC/Chl *a* 高值体现在河口最大浑浊带区, 这是由于大量高度降解的有机质经过再悬浮作用返回至水体中, POC 含量达到极值, 而水团的浊度高导致现场生产能力相对低, Chl *a* 的含量偏低, 最终两者的质量比值能达到千计; 由最大浑浊带向外, POC/Chl *a* 值降低而 DI 值升高{ $DI = 0.742 \text{Exp}[-0.001(\text{POC}/\text{Chl } a)]$, $R = 0.944$, $P < 0.0001$, $n = 14$ }说明有机碳与有机氮均变得越来越新鲜, 现场生产作用以及夹带的碎屑沉降对氨基酸的贡献占优势(图 4)。

另外, Asp 中 D 型所占的比例与微型真核浮游生物的细胞丰度呈显著的正相关性(图 5), 说明

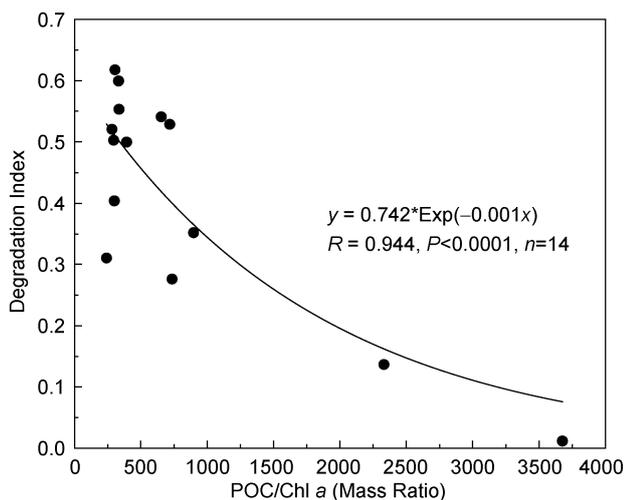


图 4 近长江口站位降解因子 DI 值与颗粒有机碳和叶绿素 *a* 的质量比值之间的相关性分析

Fig.4 Degradation Index (DI) versus the mass ratio of particulate organic carbon (POC) to chlorophyll-*a* along the Changjiang River estuary stations

D-Asp 百分含量对这类真核浮游生物的响应是敏感的, 这可能是由于蛋白质中 Asp 本身较丰富, 而且由于其亲水性, 它更多地存在于蛋白质表面而容易被利用的结果(Nunn *et al.*, 2006)。同样, 另一种 D 型氨基酸——D-Ala 占总 Ala 的比例, 与异养细菌丰度之间也存在着不同程度的相关性, 但在河口区和陆坡转折处存在着明显差异(赵三军等, 2003; Pan *et al.*, 2005)(图 6), 这与异养细菌种群的区域差异性相吻合(肖天等, 未发表数据), 从长江口向外海延伸至陆架边缘, 这种差异导致其对 D 型 Ala 的贡献大小也不同。

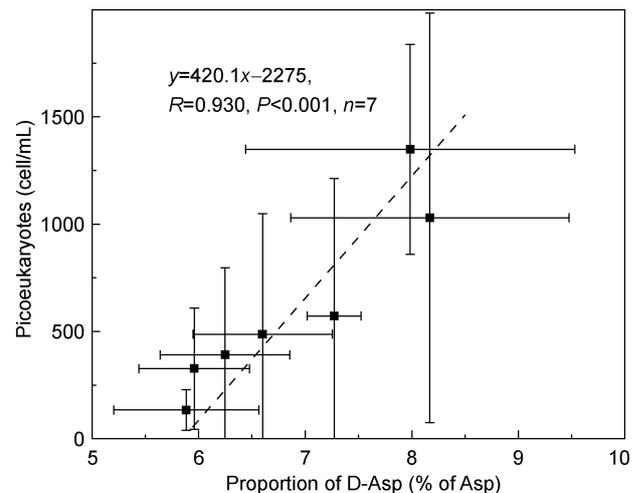


图 5 微型真核浮游生物丰度与天冬氨酸中 D 型所占比例之间的相关性分析

Fig.5 Cell abundance of picoeukaryotes versus D-Asp (% of Asp)

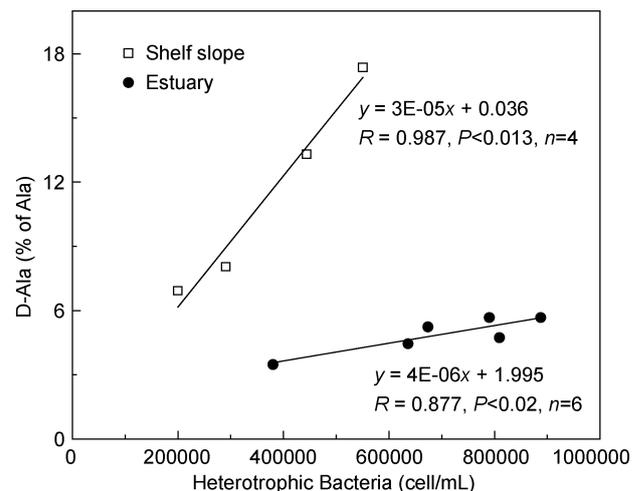


图 6 D 型丙氨酸占总丙氨酸的比例与异养细菌丰度之间的相关性分析

Fig.6 Percentage of D-alanine within total alanine versus cell abundance of heterotrophic bacteria

4 结论

长江口及其毗邻陆架区表现为受物理水团和生物现场生产双重作用影响：咸淡水混合作用在长江口成为氨基酸分布组成的主控因素，高度降解的有机物经过再悬浮作用回到水体中，对 POC、PON 以及 TPAA 贡献颇大；陆架区域水华的出现直接导致 TPAA 受控于浮游植物的现场生产；而陆架边缘黑潮次表层水所携带的西太平洋水体中 TPAA 含量甚低，与河口及近岸区域呈现出明显差异。整体而言，除受水华作用和黑潮影响的区域外，从单位质量颗粒物中氨基酸含量与 POC 的良好相关性可以判断出两者具有共同的来源。在河口及近岸区域，冲淡水向海输送过程中颗粒物中现场生产力对有机碳的贡献程度不断增大，颗粒物的也变得越来新鲜。当然，微型浮游生物在一定程度上贡献了部分 D 型氨基酸，这体现在微微型真核浮游生物丰度与 D-Asp 百分含量的高度吻合，也体现在 D-Ala 百分含量与异养细菌丰度之间在河口和陆架边缘两个端元存在着不同程度的相关，这也进一步说明氨基酸在指示生物降解过程和标识水团中不可或缺的作用。

致谢 本文在成文过程中，得到华东师范大学河口海岸学国家重点实验室张国森老师、沈冰良硕士在样品测试方面的支持，谨致谢忱。

参 考 文 献

- 毛汉礼, 甘子钧, 蓝淑芳, 1963. 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨. 海洋与湖沼, 5(3): 183—206
- 毛汉礼, 任允武, 孙国栋, 1964. 应用 T-S 关系定量分析浅海水团的初步分析. 海洋与湖沼, 6(1): 1—22
- 李烈英, 张星君, 纪明侯, 2004. 东海海域海水中颗粒氨基酸(PAA)的组成与含量的分布调查研究. 海洋科学集刊, 46: 100—105
- 赵三军, 肖 天, 岳海东, 2003. 秋季东、黄海异养细菌(Heterotrophic Bacteria)的分布特点. 海洋与湖沼, 34(3): 295—305
- 胡 俊, 柳 欣, 王 磊等, 2011. 应用反相高效液相色谱定性和定量浮游植物光合色素. 海洋科学, 35(11): 19—28
- Chen J F, Li Y, Yin K D *et al*, 2004. Amino acids in the Pearl River Estuary and adjacent waters origins, transformation and degradation. Continental Shelf Research, 24: 1877—1894
- Chen J Y, Li D J, Chen B L *et al*, 1999. The processes of dynamic sedimentation in the Changjiang Estuary. Journal of Sea Research, 41(1—2): 129—140
- Cornell S, Randell A, Jickells T, 1995. Atmospheric inputs of dissolved organic nitrogen to the oceans. Nature, 376(6537): 243—246
- Cotrim Da Cunha L, Serve L, Gadel F *et al*, 2001. Lignin-derived phenolic compounds in the particulate organic matter of a French Mediterranean river: seasonal and spatial variations. Organic Geochemistry, 32(2): 305—320
- Dauwe B, Middelburg J J, 1998. Amino acids and hexosamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. Limnology and Oceanography, 43(5): 782—798
- Dauwe B, Middelburg J J, Herman P M J *et al*, 1999. Linking diagenetic alteration of amino acids and bulk organic matter reactivity. Limnology and Oceanography, 44(7): 1809—1814
- Dittmar T, Fitznar H P, Kattner G, 2001. Origin and biogeochemical cycling of organic nitrogen in the eastern Arctic Ocean as evident from D- and L-amino acids. Geochimica et Cosmochimica Acta, 65(22): 4103—4114
- Duan S, Bianchi T S, 2007. Particulate and dissolved amino acids in the lower Mississippi and Pearl Rivers (USA). Marine Chemistry, 107(2): 214—229
- Fernandes L, 2011. Origin and biochemical cycling of particulate nitrogen in the Mandovi estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 94: 291—298
- Fitznar H P, Lobbes J M, Kattner G, 1999. Determination of enantiomeric amino acids with high-performance liquid chromatography and pre-column derivatisation with o-phthalaldehyde and N-isobutyrylcysteine in seawater and fossil sample. Journal of Chromatography A, 832: 123—132
- Kaiser K, Benner R, 2008. Major bacterial contribution to the ocean reservoir of detrital organic carbon and nitrogen. Limnology and Oceanography, 53(1): 99—112
- Li J F, Zhang C, 1998. Sediment resuspension and implications for turbidity maximum in the Changjiang Estuary. Marine Geology, 148(3—4): 117—124
- Nunn B L, Keil R G, 2006. A comparison of non-hydrolytic methods for extracting amino acids and proteins from coastal marine sediments. Marine Chemistry, 98(1): 31—42
- Pan L A, Zhang L H, Zhang J *et al*, 2005. On-board flow cytometric observation of picoplankton community structure in the East China Sea during the fall of different years. FEMS Microbiology Ecology, 52(2): 243—253
- Unger D, Gaye-Haake B, Neumann K *et al*, 2005. Biogeochemistry of suspended and sedimentary material in the Ob and Yenisei rivers and Kara Sea: amino acids and amino sugars. Continental Shelf Research, 25(4): 437—460
- Unger D, Herbeck L S, Li M *et al*, 2012. Sources, transformation and fate of particulate amino acids and hexosamines under varying hydrological regimes in the tropical Wenchang Wenjiao Rivers and estuary, Hainan, China. Continental Shelf Research, (in press)

- Wu Y, Dittmar T, Ludwichowski K U *et al*, 2007. Tracing suspended organic nitrogen from the Yangtze River catchment into the East China Sea. *Marine Chemistry*, 107(3): 367—377
- Wu Y, Zhang J, Li D J *et al*, 2003. Isotope variability of particulate organic matter at the PN section in the East China Sea. *Biogeochemistry*, 65(1): 31—49
- Yang G P, Chen Y, Gao X C, 2009. Distribution of dissolved free amino acids, dissolved inorganic nitrogen and chlorophyll *a* in the surface microlayer and subsurface water of the Yellow Sea, China. *Continental Shelf Research*, 29(14): 1737—1747
- Zhang J, Yu Z G, Liu S M *et al*, 1997. Dominance of terrigenous particulate organic carbon in the high-turbidity Shuangtaizihe estuary. *Chemical Geology*, 138(3—4): 211—219
- Zhang Y, Wu D X, Lin X P *et al*, 2009. Seasonal variation of the barrier layer in the PN section. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(2): 192—201
- Zhao Y, Zhao L, Xiao T *et al*, 2011. Spatial and temporal variation of picoplankton distribution in the Yellow Sea, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29(1): 150—161
- Zhu Z Y, Wu Y, Zhang J *et al*, 2005. Spatial and temporal variation of particulate organic carbon in the PN section of East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 24(5): 89—99

DISTRIBUTION OF PARTICULATE AMINO ACIDS AND ITS CONTROLLING FACTORS IN THE PN TRANSECTION OF THE EAST CHINA SEA SHELF

LIU Zong-Guang¹, WU Ying¹, HU Jun¹, ZHU Zhuo-Yi¹,
ZHAO Yuan², XUAN Ji-Liang³

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062;
2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 3. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, 310012)

Abstract Particulate amino acids (PAA) were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) after field work in the PN transection (Section C in this paper) of the East China Sea on May 2011, and several parameters were analyzed including chlorophyll *a* (Chl *a*), particulate organic carbon (POC), nitrogen (PON) and configuration of amino acids (D- and L-enantiomers), to understand the origin and degree of degradation of particulate organic nitrogen (PON) deeply. It turned out that at the Changjiang River estuarine turbidity maximum zone, the total concentrations of POC, PON and PAA reached their maximum influenced by the dynamic mixing of fresh and salt water and *in situ* production of phytoplankton, with the organic matters in turbid bottom layer presenting high degree of degradation caused by the resuspended sediments. On the shelf of nearshore zone, phytoplankton production and biological detritus became the main origin of PAA in water volume including water bloom. The mass ratio of POC/Chl *a* display a negative correlation with the degradation index (DI) inferring that field productivity contributes more organic carbon to the SPM in the transporting process of fresh water to the sea, with the SPM becoming fresher. Particularly, some D-enantiomers of amino acids such as aspartic acid and alanine performed a good positive correlation with the cell abundance of picoeukaryotes and heterotrophic bacteria, inferring that additional to the dynamics of water mass and biological field production, PAAs were also controlled by degradation process of bacteria.

Key words Suspended particulate matters, Particulate amino acids, Stable isotopes, Heterotrophic bacteria, Kuroshio, East China Sea Shelf, Controlling factor